

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014

Tomáš Kobza

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Bezdotykový voltmetr

Contactless Voltmeter

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Kobza**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Bezdotykový voltmetr**
Contactless Voltmeter

Zásady pro vypracování:

1. Popište funkci bezdotykových voltmetrů.
2. Charakterizujte přístroj TREK 520-1.
3. Proveďte srovnávací měření.

Seznam doporučené odborné literatury:


MACH, Věslav. Technika vysokého napětí. Ostrava: Skriptum 2. přepracované vydání, ES VŠB-TUO, 2006, 114 s. ISBN 80-248-1161-8

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Věslav Mach**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 2.5.2014.....

Podpis .....

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Dr. Ing. Věslavu Machovi za cenné rady a vedení při její tvorbě a měření.

Děkuji svému otci Ing. Zdeňku Kobzovi za rady při výrobě potřebných zařízení pro měření.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá bezdotykovým voltmetrem TREK model 520-1. Práce je rozdělena na úvod, čtyři části a závěr. První část se zabývá charakterizací přístroje a další pojednává o jeho principech. Třetí kapitola je zaměřena na využití přístroje v praxi. Poslední část obsahuje výsledky testovacího měření.

Klíčová slova

Bezdotykový voltmetr; kapacitní sonda; střídavá zpětná vazba.

Abstract

This bachelor work deals with the contactless voltmeter TREK model 520-1. The work is divided into an introduction, four sections and a conclusion. The first part deals with the characterization of device and other deals with its principles. The third chapter is focused on the use of this device in practice. The last part contains the results of the test measurement.

Key words

Contactless voltmeter; capacitive probe; AC feedback.

Seznam veličin

I' (A) – nulovací proud, generovaný oscilátorem přístroje

$U_{\text{měř}}$ (V) – měřené napětí

U_{ref} (V) – referenční napětí

V_t (V) – napětí z předzesilovače přístroje

Obsah

Úvod	1
Měřicí přístroj TREK 520-1	2
Popis.....	2
Parametry	2
Požití	2
Principy přístroje.....	3
Kapacitní měřicí sonda	3
Vibrační kapacitní sonda	4
Sonda s paralelní vibrací k povrchu.....	5
Princip vyhodnocení	7
Možnosti využití přístroje TREK 520-1.....	9
Lokalizace statického náboje	9
Měření s přístrojem TREK 520-1.....	10
Příprava na měření	10
Měření.....	11
Obrázek měřicího zapojení:	11
Použité přístroje:	12
Postup měření:	12
Výsledky měření:	12
Závěr	17
Seznam obrázků.....	18
Seznam použité literatury	19
Seznam příloh.....	20
Příloha I: Porovnání TREK 520 a měřiče pole	21
Příloha II: Tabulky naměřených hodnot	22

Úvod

Předmětem této práce je přístroj TREK 520-1 od společnosti TREK, INC. Tento přístroj je jednou ze dvou verzí série 520. Jedná se o ruční bezkontaktní elektrostatický voltmetr. Účelem práce je seznámení se s přístrojem, jeho parametry a principy funkce.

Práce zahrnuje základní parametry poskytované výrobcem, dále udává principy, na kterých přístroj pracuje a zkušební měření s přístrojem k ověření výrobcem udávaných parametrů. Mezi tyto parametry patří přesnost v závislosti na vzdálenosti od měřeného povrchu, dále životnost a spotřeba přístroje a schopnost přístroje změřit hodnotu napětí na různých tvarech povrchu.

Měřicí přístroj TREK 520-1

Popis

Jedná se o ruční bezkontaktní elektrostatický voltmetr. Poskytuje přesné elektrostatické měření napětí povrchů v ionizovaném i neionizovaném prostředí.

Výhodou tohoto přístroje oproti jiným typům bezkontaktních voltmetrů je nezávislost měřicí sondy od měřeného povrchu.

Následující text je převzat z [1].

Parametry

Měřicí rozsah:	0 až ± 2 kV stejnosměrných
Přesnost měření:	Lepší než 5 % při plné výchylce a doporučené vzdálenosti od 5 mm do 25 mm od měřeného povrchu
Display:	3 a 1/2 digitální display z tekutých krystalů
Pracovní teploty:	15 °C až 35 °C
Relativní vlhkost:	do 85 % nezkondenzováno
Rozměry:	31 mm x 59 mm x 173 mm
Napájení:	9 V baterie
Životnost:	8 hodin nepřetržitě s novou baterií

Požiti

1. Připojení přístroje uzemňovacím kabelem k referenčnímu uzemňovacímu bodu.
2. Zapnutí tlačítkem ON
3. Nasměrovat čidlo na měřený objekt nebo povrch. Nejlépe v doporučené vzdálenosti. Stiskem tlačítka HOLD se právě zobrazená hodnota napětí zaznamená po dobu stisku tlačítka.
Překročení rozsahu měřeného napětí “1” nebo “-1”



Obr. 1 Měřicí přístroj TREK 520-1

Principy přístroje

O principech se pojednává v [2]. Obrázky převzaté z [2].

Kapacitní měřicí sonda

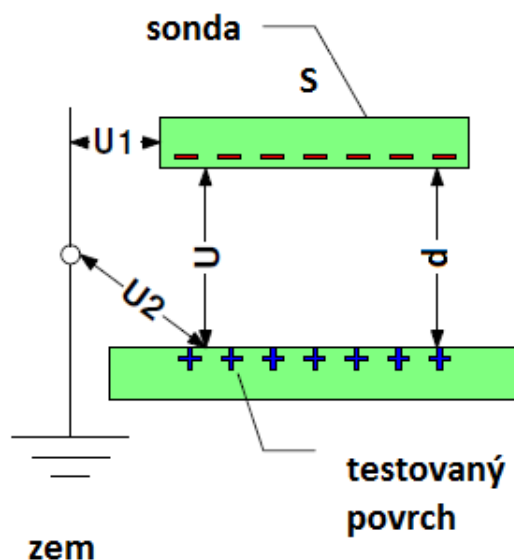
Princip kapacitní sondy byl vynalezen Lordem Kelvinem v roce 1898. Kapacitní sonda poskytuje bezkontaktní nedestruktivní zjištění povrchového náboje. Princip vychází ze základního vztahu pro kapacitu kondenzátoru:

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1)$$

Nejjednodušší konstrukce kondenzátoru se skládá ze dvou paralelních rovin. Kapacita této struktury závisí na velikosti povrchu těchto rovin, na délce vzdálenosti a na druhu prostředí mezi nimi. Pokud přivedeme napětí na takovéto zařízení, pak množství uloženého náboje je přímo úměrné tomuto napětí. To platí za předpokladu, že elektrické pole mezi elektrodami kondenzátoru je homogenní. Kapacitu takového deskového kondenzátoru lze vypočítat dle vztahu:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} \quad (2)$$

Značka S představuje plochu desek a d vzdálenost desek mezi sebou. Stejná konfigurace je použita u kapacitní sondy:



Obr. 2 Kapacitní sonda

Napětí U_1 představuje rozdíl mezi potenciálem sondy a potenciálem země a napětí U_2 rozdíl potenciálů nabitě desky a země. Napětí U mezi sondou a povrchem lze pak vyjádřit jako:

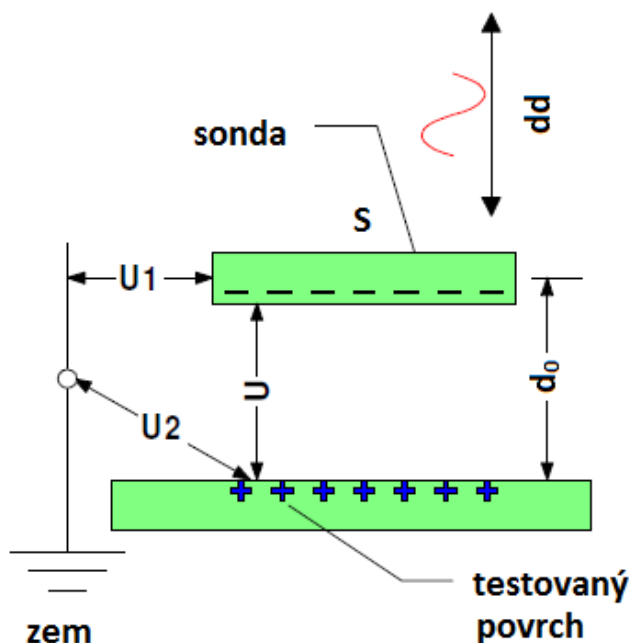
$$U = U_1 - U_2 \quad (3)$$

Pokud je sonda měřicího přístroje uzemněná, pak je $U_1 = 0$ V a $U_2 = U$. Náboj měřeného povrchu pak lze vypočítat podle rovnice:

$$Q = U \cdot \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} \quad (4)$$

Vibrační kapacitní sonda

V roce 1932 W.A.Zisman představil vibrační Kelvinovu sondu. Sonda vibrovala kolmo na testovaný povrch a proud tekoucí do a ze sondy se měnil podle amplitudy a frekvence těchto vibrací.



Obr. 3 Vibračně kapacitní sonda

Vzdálenost sondy od povrchu je časově proměnná a je rovna:

$$d = d_0 + d_1 \cdot \sin(\omega t) \quad (5)$$

Kde d_1 je amplituda vibrací a ω je jejich úhlová rychlost.

Kapacita této konfigurace se pak vypočte dle vztahu:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d_0 + d_1 \cdot \sin(\omega t)} \quad (6)$$

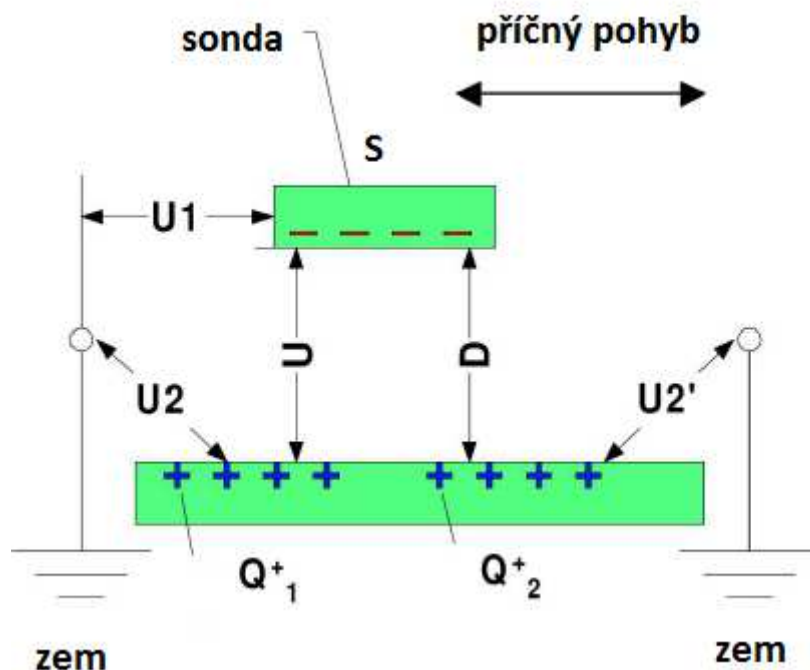
Pak lze vypočítat proud tekoucí sondou:

$$\begin{aligned} I &= U \cdot \frac{dC}{dt} = \\ &= U \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d_0 + d_1 \cdot \sin(\omega t)} \right) = \\ &= -U \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S \cdot \frac{d_1 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)}{[d_0 + d_1 \cdot \sin(\omega t)]^2} \end{aligned} \quad (7)$$

Pro vynulování tohoto proudu je napětí U položeno nule. Proto napětí mezi zemí a sondou U_1 je rovno napětí na povrchu U_2 . Základní vlastností je proto správné určení proudu, aby byla nastavena přesná hodnota napětí U_1 .

Sonda s paralelní vibrací k povrchu

Další skupinou kapacitních sond jsou sondy, které se pohybují paralelně s měřeným povrchem. Jak je naznačeno na následujícím obrázku.



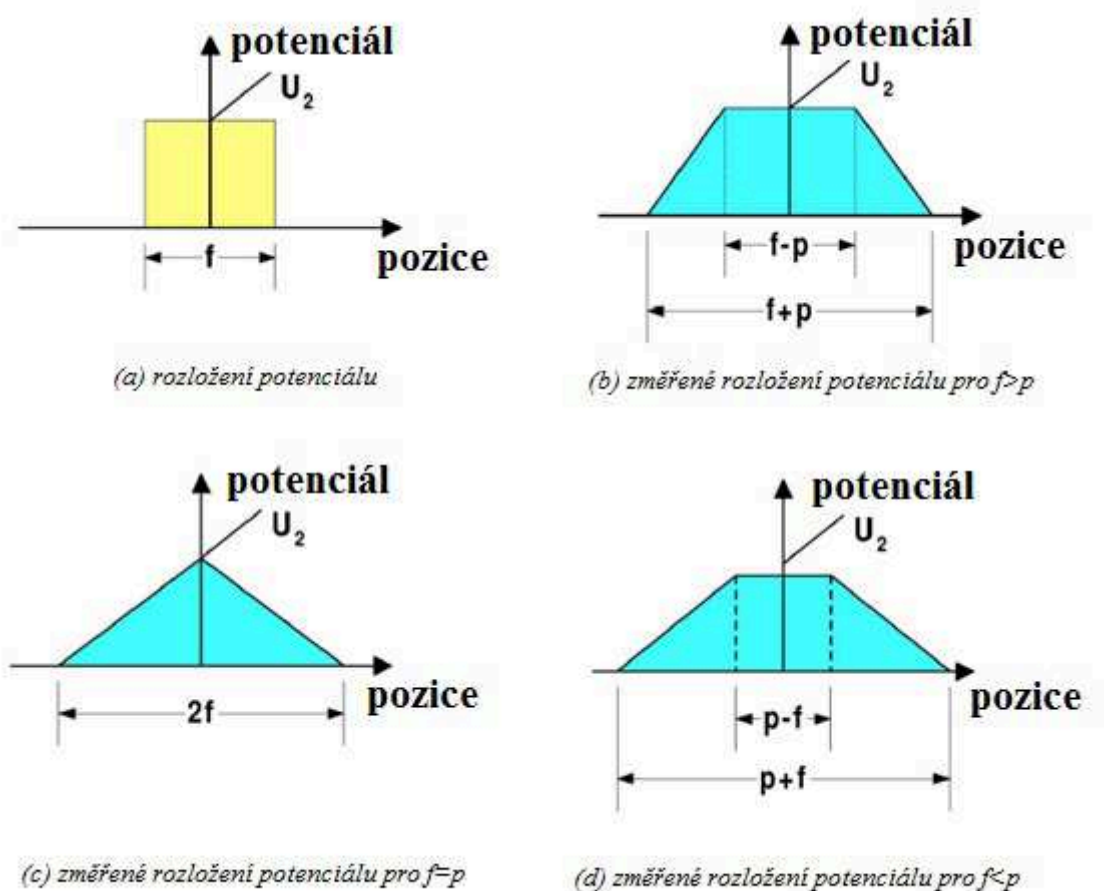
Obr. 4 Kapacitní sonda ve skenovacím režimu

Vzduchová mezera o velikosti D , zůstává stále konstantní, když se sonda pohybuje příčně k testovanému povrchu. Kapacita celé konfigurace je proto také

konstantní, ale napětí se může měnit vlivem různé velikosti náboje na povrchu měnit. Proud se vypočte z rovnice:

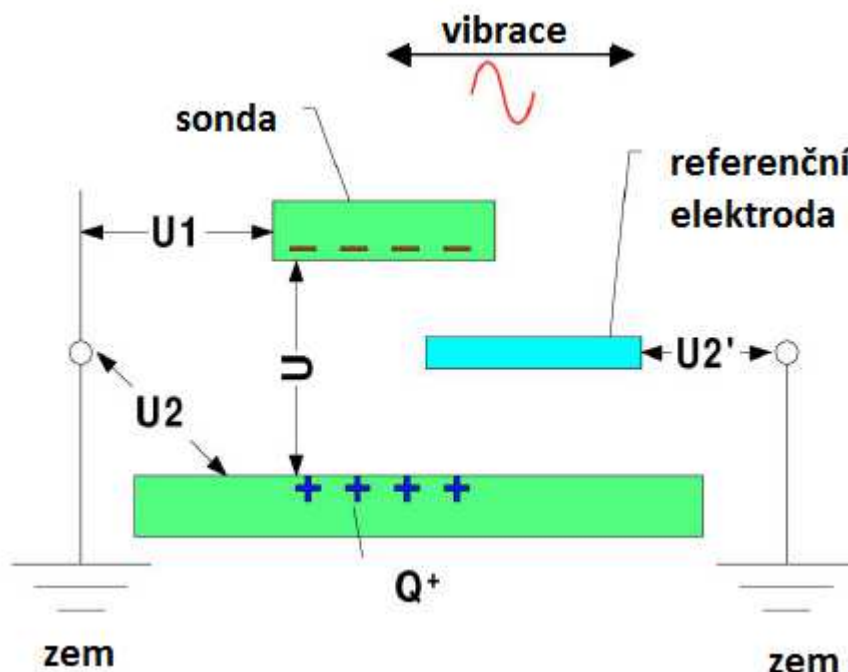
$$I = C \cdot \frac{dU}{dt} \quad (8)$$

Tato technika je dle [5] nazvána jako skenovací režim. Hlavním nedostatkem této techniky je, že sonda ve skenovacím režimu má tendenci zprůměrovat potenciál pod její plochou. Pokud je průměr skenovací sondy p menší, než je velikost nabité plochy f , pak bude sonda detekovat potenciál, jak je uvedeno na obrázku 4 (b). Pokud budou průměry p a f ekvivalentní pak výsledek bude jako na 4 (c) a jestliže bude $f < p$, pak detekované napětí nedosáhne skutečné velikosti v žádném bodě. Obrázek převzatý z [5].



Obr. 5 Měření potenciálu pro různé velikosti nabitých ploch

Skenovací režim byl předchůdcem techniky, kde sonda vibruje paralelně k měřenému povrchu a rozdílové napětí dU je způsobeno rozdílem mezi napětím na povrchu a referenčním napětím.



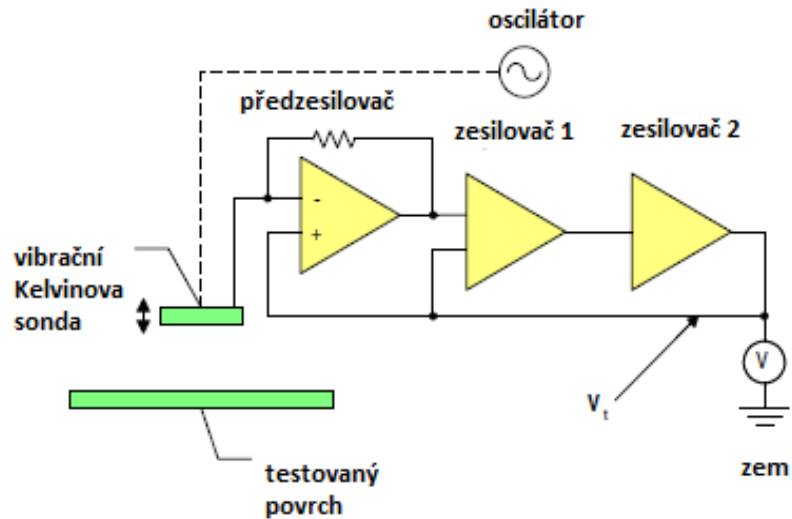
Obr. 6 Kapacitní sonda s paralelní vibrací a referenčním zdrojem

Princip vyhodnocení

Metoda s jakou přístroj TREK 520-1 vyhodnocuje napětí, se nazývá AC-feedback, což je volně přeloženo jako přístroj se střídavou zpětnou vazbou. Tento systém je patentován společností TREK. Díky němu je měřená vzdálenost v určeném rozsahu libovolná.

Princip určení napětí na měřeném povrchu je založen na nulování proudu tekoucím kapacitní vibrační sondou.

Následující obrázek znázorňuje blokové schéma měřicího přístroje.



Obr. 7 Blokové schéma přístroje se střídavou zpětnou vazbou

Tato metoda využívá k nulování Kelvinova proudu, což je proud tekoucí sondou, I nulovací proud I' . Tento nulovací proud je generován vnějším generátorem, který je nastaven na frekvenci vibrací měřicí sondy, proto název střídavá zpětná vazba. Proud I' je roven:

$$I' = C \cdot \frac{dV_t}{dt} \quad (9)$$

Proudy I a I' se pak navzájem vyruší:

$$I = I'$$

$$U \cdot \frac{dC}{dt} = C \cdot \frac{dV_t}{dt} \quad (10)$$

Oba tyto proudy jsou nepřímo úměrné ke vzdálenosti d_0 , poměr mezi amplitudou V_t a U zůstává konstantní pro velký rozsah d_0 . Signál V_t je získán zesílením a převedením proudu I na napětí v předzesilovači.

Možnosti využití přístroje TREK 520-1

Následující text vychází z [2], části Effective ESD Measurement, jejímž autorem je William A. Maryniak.

Lokalizace statického náboje

Přístroje TREK série 520 poskytuje dobrý způsob pro lokalizování elektrostatického napětí.

Ruční elektrostatické přístroje jsou široce využívány při měření velikosti náboje při montáži a testování polovodičů, pevných disků a jiných zařízení citlivých na statický náboj. Hromadění statického náboje může vést k elektrostatickému výboji, který může způsobit poškození nebo zničení zařízení.

Ruční měřiče polí jsou používány na lokalizaci statického náboje, ale jsou limitovány prostorovým rozlišením přístroje. Typické měřiče pole se používají ve vzdálenosti jednoho palce mezi sondou a měřeným povrchem. Tato vlastnost omezuje jejich použití při přesné lokalizaci elektrostatického náboje.

Přístroje TREK série 520 poskytuje přesnější měření povrchového napětí, protože umožňuje umístit sondu v rozmezí od 5 mm do 25 mm od testovaného povrchu. Model 520 je navržen se střídavou zpětnou vazbou, která umožňuje přesné měření i při tomto rozsahu vzdáleností mezi sondou a měřeným povrchem. To umožňuje uživateli snadněji polohovat sondu kolem měřeného povrchu. Při použití přístroje ve vzdálenosti 5 mm od povrchu zlepšuje schopnost lokalizace statického náboje.

Při měření povrchů, na kterých se vyskytují oblasti s elektrostatickým nábojem i bez něj, pak přístroje odečítají průměrnou hodnotu náboje povrchu, který je začleněn pod měřenou plochu sondy. Měřiče pole, které snímají rozsáhlejší prostor, odečítají menší hodnoty elektrostatického náboje. Proto model 520 poskytuje lepší rozlišovací schopnost a tím umožňuje přesnější lokalizaci a velikost elektrostatického náboje.

Přesnost měření také závisí na celkové ploše měřeného povrchu. Pro běžné měřiče pole je doporučená velikost měřené plochy 235 cm^2 při 5% chybě. Pro model 520 je dostatečná velikost $28,3 \text{ cm}^2$ při chybě 5 %.

V příloze I je zobrazen rozdíl při měření s měřičem pole a modelem 520 pro různé velikosti měřené plochy. Jak lze vidět, tak u přístroje TREK se při velké změně plochy mění měřené napětí jen minimálně oproti odečítanému napětí z měřiče pole.

Měření s přístrojem TREK 520-1

Příprava na měření

Účelem měření bylo zjistit přesnost měření přístroje při různých vzdálenostech a pro různě velké měřené plochy. Dalším zjišťovaným parametrem bylo výdrž baterie a vliv doby na měření na přesnosti přístroje.

První částí přípravy tedy bylo sestavit stojan, který by udržoval různé nastavované vzdálenosti přístroje od měřené plochy. Jako nejvhodnější řešení jsem zvolil stojan s posuvnou plošinou, která se pochybuje ve drážkách bočních stěn. Stojan je zobrazen na následujícím obrázku:



Obr. 8 Stojan s posuvnou plošinou

Další potřebnou součástí měření byly měřené objekty. Za vhodný materiál jsem považoval hliníkový alobal, protože je snadno dostupný a lehce získám požadovaný tvar jen vystříhnutím obyčejnými nůžkami. Bohužel jsem až při měření zjistil, že takový materiál má velmi vysoký odpor a nelze jej využít pro měření.



Obr. 9 Testovací povrchy

Při měření jsem použil náhradní měřený objekt a to plechový obdélník o stranách 180 mm a 220 mm, což je plocha o velikosti 396 cm^2 . Pro měření dalších průměrů jsem použil objekty, které jsou součástí laboratoře. První o ploše 63 cm^2 a druhý o ploše 19 cm^2 .



Obr. 10 Měřené plochy, od leva: 63 cm^2 a 19 cm^2

Měření

Fyzikální podmínky v laboratoři:

Teplota: $22\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tlak: 976 hPa

Vlhkost: 50%

Obrázek měřicího zapojení:



Obr. 11 Měřicí zapojení

Použité přístroje:

stejnoseměrný zdroj: Tesla BM 208

analogový multimetr: DU20 Metra Blansko, třída přesnosti: 1 pro stejnosměrné napětí

bezkontaktní voltmetr: TREK 520-1

baterie: gp 1604g-s1

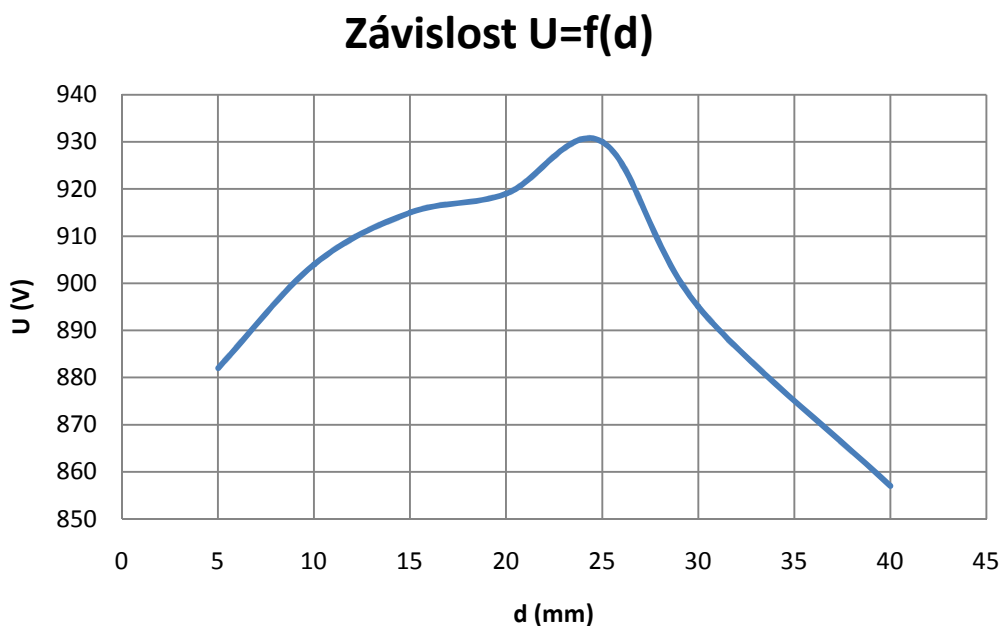
Postup měření:

První série měření se týkala testování přesnosti přístroje při různých vzdálenostech od obdélníkové plochy, která má největší obsah ze všech použitých objektů. Tím byl splněn požadavek výrobce na nejmenší měřenou plochu $28,3 \text{ cm}^2$. Při měření se nejprve zvedalo napětí od 100 V do 900 V s krokem 100 V. Po dvouminutové přestávce se napětí snižovalo z 900 V zpět na 100 V. Pro tvorbu grafů byla použita průměrná hodnota. V přestávkách mezi měřeními byl přístroj vypnutý. Stejný postup byl opakován i pro další dvě plochy, ale pro méně vzdáleností.

Výsledky měření:

Tabulky naměřených hodnot jsou uvedeny v příloze 2. Přístroj TREK 520-1 má dle výrobce chybu $\pm 5 \%$ na plné výchylce, což je $\pm 100 \text{ V}$ na rozsahu $\pm 2 \text{ kV}$.

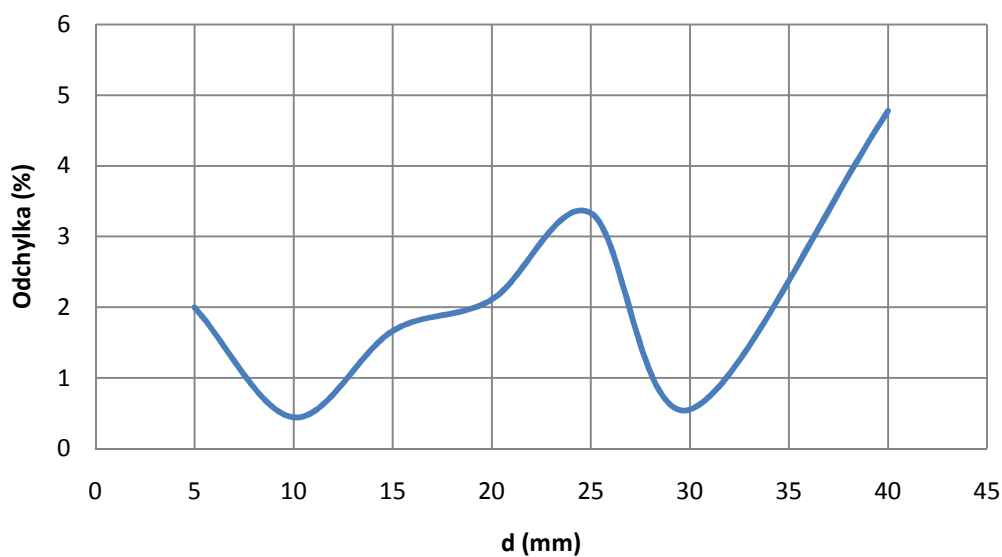
Na následujícím grafu je zobrazen průběh napětí pro referenční hodnotu 900 V pro všechny měřené vzdálenosti na ploše 396 cm^2 :



Obr. 12 Graf průběhu napětí v závislosti na vzdálenosti pro 900 V

Pro nastavenou hodnotu 900 V je relativní chyba $\pm 11 \%$. Největší odchylka v doporučené vzdálenosti 5 až 25 mm nastala na $d = 25 \text{ mm}$ a to o 30 V. Pro přehlednost je na dalším grafu zobrazena závislost odchylky naměřené hodnoty od nastavené hodnoty 900 V, v procentech.

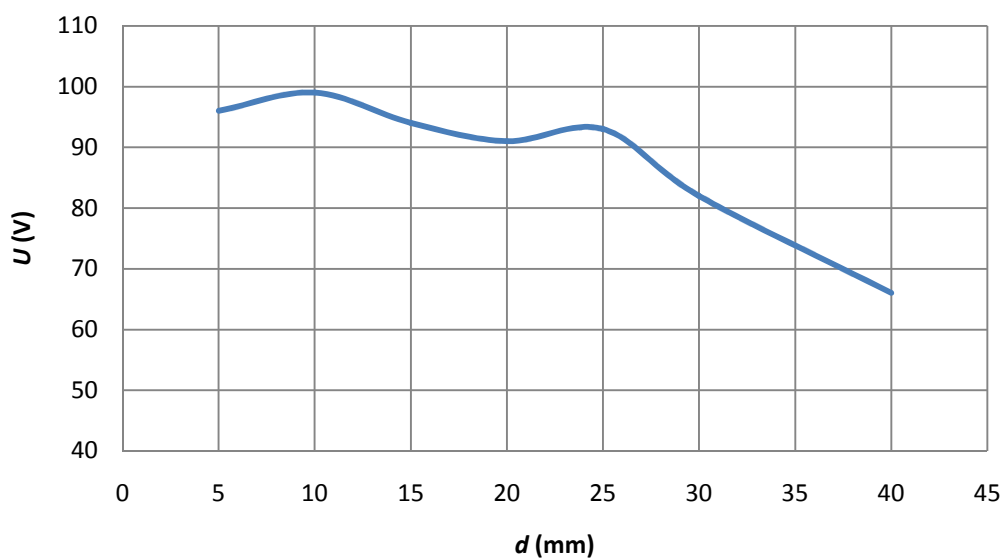
Závislost odchylky na vzdálenosti



Obr. 13 Graf odchylky od referenční hodnoty 900 V

Na grafech lze vidět, že měřené hodnoty byly měřeny s přesností lepší, než jakou udává výrobce i za doporučenou vzdáleností 40 mm od měřeného objektu. Na dalším grafu je zobrazeno stejné měření pro referenční napětí rovno 100V.

Závislost $U=f(d)$

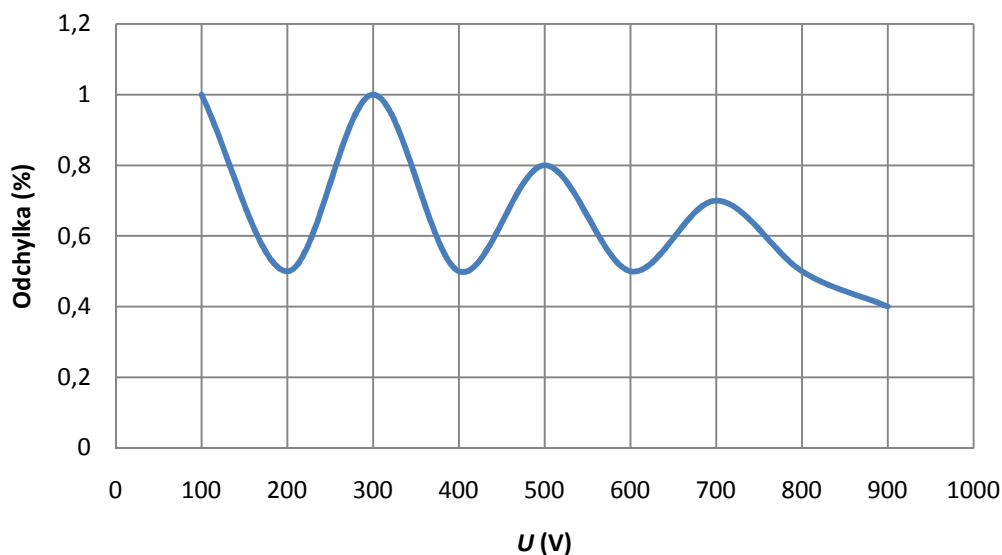


Obr. 14 Graf průběhu napětí v závislosti na vzdálenosti pro 100 V

Z grafu lze vidět, že i pro napětí dosahující 1/20 výchylky je odchylka od referenční hodnoty maximálně 10 % v doporučené vzdálenosti.

Nejpřesnější měření bylo vždy provedeno ve vzdálenosti 10 mm od měřené plochy. Následující graf zobrazuje odchylky měřeného napětí pro všechny nastavované referenční hodnoty ve vzdálenosti 10 mm v procentech.

Závislost odchylky na napětí

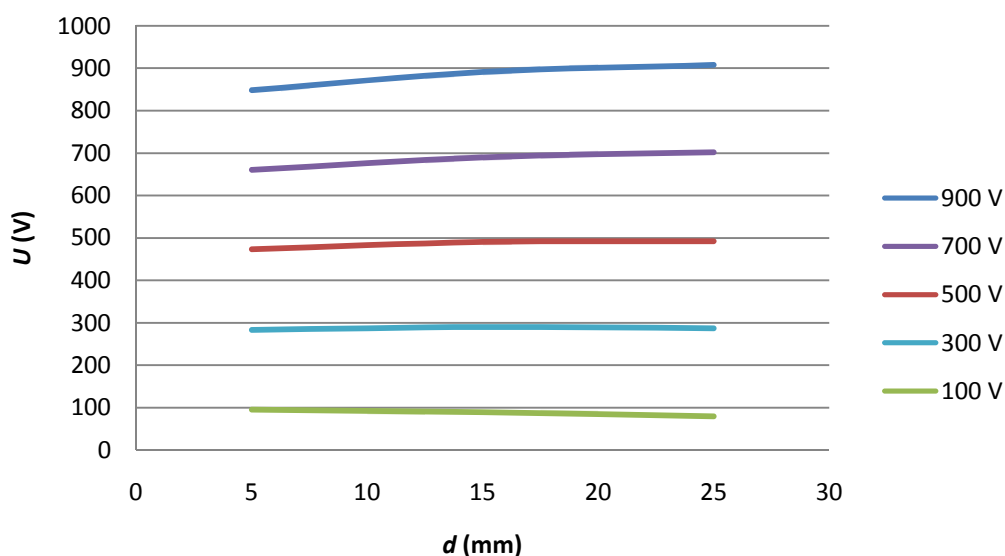


Obr. 15 Graf odchylky pro 10 mm

Maximální odchylka od nastavené hodnoty je 1 % a nejmenší odchylka nastala při referenční hodnotě 900 V, proto pro nejpřesnější měření je vhodné udržovat vzdálenost 10 mm a nejlépe pro napětí co nejbližší plné výchylce, tedy ± 2 kV.

Další sada měření byla pro plochu s obsahem 63 cm^2 . Měřené vzdálenosti jsou jen v rámci doporučených hodnot, tedy od 5 do 25 mm.

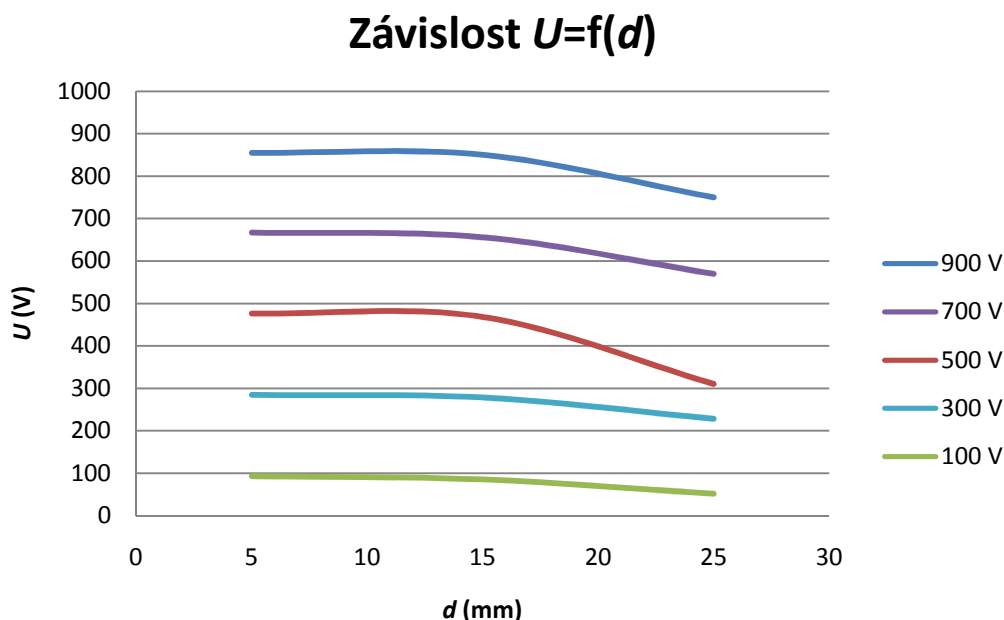
Závislost $U=f(d)$



Obr. 16 Graf závislosti napětí na vzdálenosti pro plochu 63 cm^2

Plocha o velikosti 63 cm^2 je větší než doporučená velikost výrobcem. Každá křivka odpovídá jedné referenční hodnotě napětí pro všechny měřené vzdálenosti. Při menší ploše jsou měřené hodnoty méně přesné, ale stále s přesností větší než je udávaná přesnost 5% pro plnou výchylku.

Následující měření je stejného typu, ale pro plochu s obsahem 19 cm^2 , tato velikost je menší než doporučená.



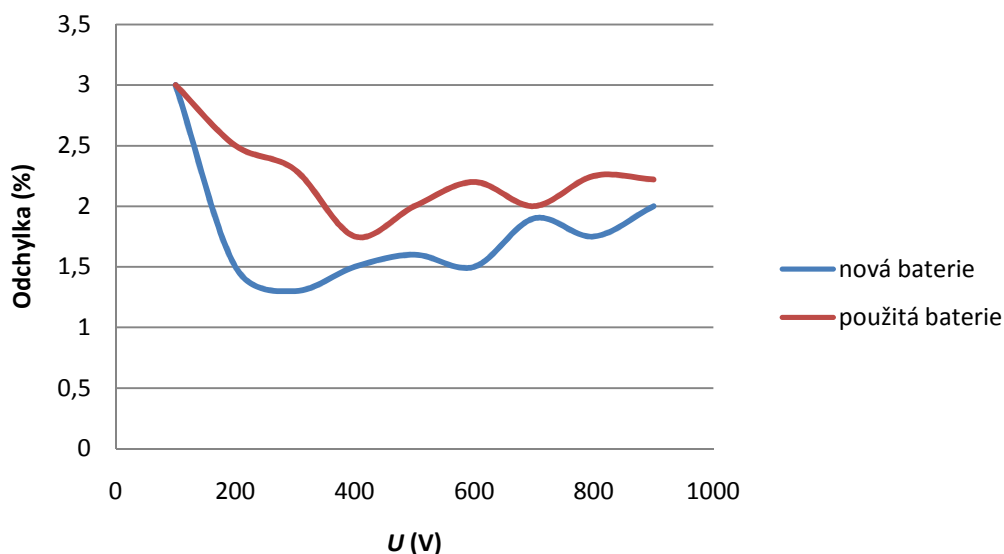
Obr. 17 Graf závislosti napětí na vzdálenosti pro plochu 19 cm^2

Jak lze z grafu vidět, tak pro malé plochy jsou měřené hodnoty již méně přesné, ale při vzdálenosti 5 až 10 mm je přístroj stále použitelný.

Poslední část měření je zaměřena na výdrž měřicího přístroje. Každé měření byl přístroj zapnutý přibližně dvě minuty a pak následovala stejně dlouhá přestávka před dalším měřením. Před měřením byla do přístroje vložena nová baterie s napětím 8,98 V. Po čtrnáctém měření, tedy po celkově 28 minutách v zapnutém stavu bylo provedeno kontrolní měření prvního měření.

Na následujícím grafu jsou zobrazeny průběhy odchylek od referenčního napětí v procentech při vzdálenost 5 mm pro všechna napětí a to s novou baterií a s baterií po výše zmíněné době v zapnutém stavu.

Závislost odchylky na napětí



Obr. 18 Graf odchylek pro vzdálenost 5 mm

Kontrolní měření ukázalo, že již po 28 minutách měření se přesnost měření snížila. Kontrolka pro detekci slabé baterie se za celou dobu měření neaktivovala. Celková doba po kterou byl přístroj zapnut byla přibližně 56 minut. Po skončení měření měla baterie hodnotu napětí 8,65 V. Po 5 minutách byla baterie změřena znovu s hodnotou 8,82 V. Odběrový proud přístroje byl změřen na 44 mA. Dle výrobce by baterie při tomto odběru měla být použita 30 minut denně a vydržet celkově 8 hodin a 36 min, než dosáhne konečného bodu 5,4 V. Přesnost přístroje není po celou dobu životnosti baterie stejná a nelze spoléhat na indikaci slabé baterie přístrojem, protože indikace nastává až při nepoužitelném stavu baterie.

Závěr

Úkolem práce bylo seznámení se s vlastnostmi principem a způsobem použití bezdotykového voltmetru TREK 520-1.

První se část je věnována základním parametrům přístroje a způsobem jak s ním zacházet.

Další kapitola je zaměřena na principy fungování jednotlivých částí přístroje. Jednou částí je měřicí sonda, pracující na principu změny kapacity pomocí mechanické vibrace a další částí jsou vnitřní obvody přístroje, které vyhodnocují měřené veličiny za pomoci střídaví zpětné vazby.

Následující kapitola se zabývá použitím přístroje v praxi a jeho srovnáním s měřičem pole. Po srovnání lze vidět, že bezdotykový voltmetr společnosti TREK je méně závislý na udržování vzdálenosti mezi měřicí sondou a testovaným povrchem.

Poslední kapitolou práce je testovací měření za účelem zjištění nejvhodnějších způsobů měření s přístrojem TREK 520-1. Testovací měření zahrnují vliv vzdálenosti, vliv velikosti měřené plochy a také vliv délky měření na přesnost měřených hodnot.

Z měření vyplývá, že výrobcem doporučené vzdálenosti i plochy jsou vhodné pro měření s udávanou přesností. Co se týká délky měření, je vhodné zjistit charakteristiku použité baterie a přístroj zapínat na co nejkratší dobu, aby nedošlo ke zkreslení měření vlivem poklesu napětí baterie.

Seznam obrázků

Obr. 1 Měřicí přístroj TREK 520-1	2
Obr. 2 Kapacitní sonda	3
Obr. 3 Vibračně kapacitní sonda.....	4
Obr. 4 Kapacitní sonda ve skenovacím režimu	5
Obr. 5 Měření potenciálu pro různé velikosti nabitých ploch	6
Obr. 6 Kapacitní sonda s paralelní vibrací a referenčním zdrojem	7
Obr. 7 Blokové schéma přístroje se střídavou zpětnou vazbou.....	8
Obr. 8 Stojan s posuvnou plošinou	10
Obr. 9 Testovací povrchy.....	10
Obr. 10 Měřené plochy, od leva: 63 cm ² a 19 cm ²	11
Obr. 11 Měřicí zapojení	11
Obr. 12 Graf průběhu napětí v závislosti na vzdálenosti pro 900 V.....	12
Obr. 13 Graf odchylky od referenční hodnoty 900 V	13
Obr. 14 Graf průběhu napětí v závislosti na vzdálenosti pro 100 V.....	13
Obr. 15 Graf odchylky pro 10 mm	14
Obr. 16 Graf závislostí napětí na vzdálenosti pro plochu 63 cm ²	14
Obr. 17 Graf závislostí napětí na vzdálenosti pro plochu 19 cm ²	15
Obr. 18 Graf odchylek pro vzdálenost 5 mm.....	16

Seznam použité literatury

a) Internetové zdroje

[1] TREK, INC., Data Sheet [online], Lockport, NY 14094 USA.

Dostupné na WWW: http://www.trekinc.com/products/520_Series.asp.

[2] TREK, INC., Application Notes [online], Lockport, NY 14094 USA.

Dostupné na WWW: http://www.trekinc.com/library/Tech_Notes.asp.

b) Odborné časopisy

[3] Lord Kelvin, ContactElectricityof Metals, Phil. Mag. Vol. XLVI. 1898.

W. A. Zisman, ReviewofScientific Instruments, 1932.

[4] W. A. Zisman, ReviewofScientific Instruments, Vol. 3. 1932.

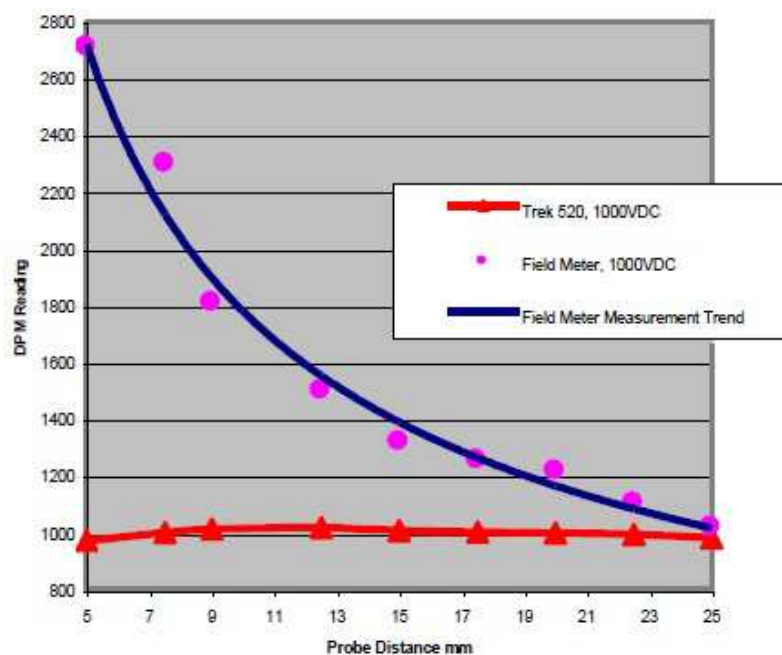
[5] H. Baumgärtner and H. D. Liess, MicroKelvinprobeforlocalwork-fuctionmeasurment, ReviewofScientific Instruments 59(9):802805, 1988.

Seznam příloh

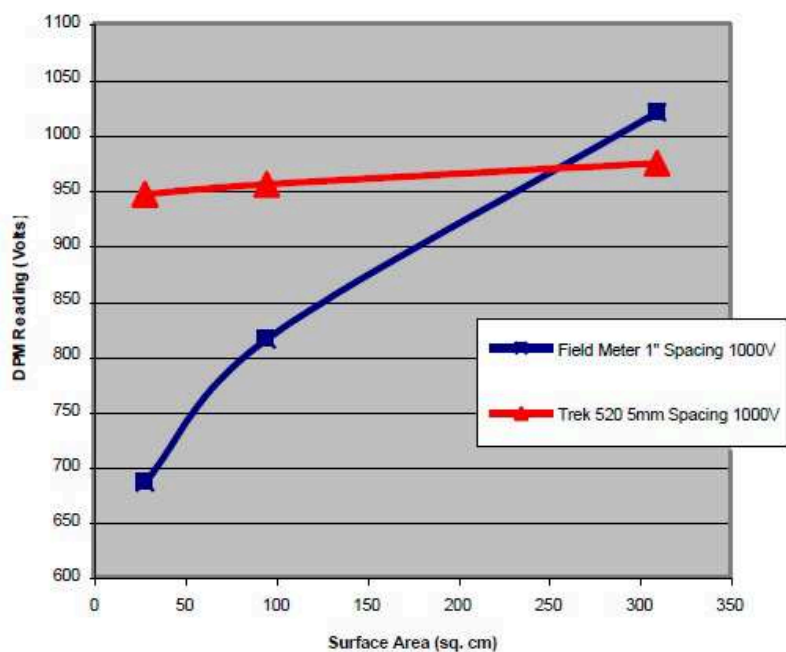
- [I] Porovnání TREK 520 a měřiče pole, počet stran: 1
- [II] Tabulky naměřených hodnot, počet stran: 5

Příloha I: Porovnání TREK 520 a měřiče pole

Grafy převzaté z [2], společnosti TREK, INC.



Obr. č. 1 Srovnání při různé vzdálenosti sondy od povrchu



Obr. č. 2 Srovnání při různé velikosti povrchu

Příloha II: Tabulky naměřených hodnot

Měření s obdélníkovou plochou 396 cm²:

Tab. 1 Hodnoty prvního měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	100	97
5	200	195
5	300	295
5	400	395
5	500	493
5	600	593
5	700	687
5	800	787
5	900	882

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	900	882
5	800	784
5	700	687
5	600	589
5	500	491
5	400	392
5	300	297
5	200	198
5	100	96

Tab. 2 Hodnoty druhého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
10	100	100
10	200	201
10	300	304
10	400	403
10	500	505
10	600	604
10	700	705
10	800	805
10	900	903

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
10	900	905
10	800	804
10	700	705
10	600	602
10	500	502
10	400	401
10	300	299
10	200	201
10	100	98

Tab. 3 Hodnoty třetího měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
15	100	94
15	200	197
15	300	302
15	400	406
15	500	508
15	600	608
15	700	711
15	800	812
15	900	912

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
15	900	918
15	800	811
15	700	710
15	600	606
15	500	505
15	400	405
15	300	301
15	200	197
15	100	94

Tab. 4 Hodnoty čtvrtého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
20	100	90
20	200	194
20	300	300
20	400	401
20	500	510
20	600	608
20	700	713
20	800	815
20	900	917

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
20	900	922
20	800	820
20	700	710
20	600	608
20	500	505
20	400	403
20	300	298
20	200	194
20	100	92

Tab. 5 Hodnoty pátého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
25	100	92
25	200	198
25	300	301
25	400	408
25	500	514
25	600	616
25	700	719
25	800	823
25	900	930

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
25	900	930
25	800	822
25	700	717
25	600	611
25	500	510
25	400	410
25	300	302
25	200	198
25	100	94

Tab. 6 Hodnoty šestého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
30	100	81
30	200	184
30	300	288
30	400	389
30	500	490
30	600	588
30	700	691
30	800	785
30	900	901

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
30	900	890
30	800	793
30	700	692
30	600	593
30	500	488
30	400	387
30	300	289
30	200	188
30	100	84

Tab. 7 Hodnoty sedmého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
40	100	65
40	200	160
40	300	262
40	400	357
40	500	454
40	600	550
40	700	649
40	800	746
40	900	844

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
40	900	870
40	800	750
40	700	642
40	600	565
40	500	462
40	400	365
40	300	267
40	200	165
40	100	67

Kontrola prvního měření se stejnou baterií po 28 minutách v přerušovaném zapnutém stavu:

Tab. 8 Hodnoty osmého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	100	98
5	200	195
5	300	294
5	400	394
5	500	492
5	600	587
5	700	684
5	800	781
5	900	880

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	900	880
5	800	782
5	700	688
5	600	587
5	500	488
5	400	391
5	300	292
5	200	194
5	100	96

Měření s kruhovou plochou 63 cm²:

Tab. 9 Hodnoty devátého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	100	95
5	200	188
5	300	283
5	400	378
5	500	472
5	600	564
5	700	660
5	800	752
5	900	847

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	900	848
5	800	752
5	700	660
5	600	565
5	500	473
5	400	376
5	300	283
5	200	185
5	100	94

Tab. 10 Hodnoty desátého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
15	100	90
15	200	190
15	300	289
15	400	390
15	500	488
15	600	588
15	700	689
15	800	787
15	900	890

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
15	900	892
15	800	790
15	700	690
15	600	592
15	500	491
15	400	387
15	300	290
15	200	188
15	100	87

Tab. 1 Hodnoty jedenáctého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
25	100	77
25	200	180
25	300	285
25	400	382
25	500	490
25	600	596
25	700	697
25	800	805
25	900	906

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
25	900	911
25	800	804
25	700	708
25	600	590
25	500	494
25	400	388
25	300	288
25	200	184
25	100	81

Měření s kruhovou plochou 19 cm²:

Tab. 11 Hodnoty dvanáctého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	100	94
5	200	189
5	300	284
5	400	382
5	500	477
5	600	570
5	700	668
5	800	760
5	900	855

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
5	900	855
5	800	761
5	700	666
5	600	569
5	500	475
5	400	380
5	300	283
5	200	189
5	100	93

Tab. 12 Hodnoty třináctého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
15	100	84
15	200	178
15	300	275
15	400	372
15	500	467
15	600	562
15	700	657
15	800	753
15	900	850

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
15	900	850
15	800	758
15	700	655
15	600	566
15	500	469
15	400	371
15	300	280
15	200	184
15	100	85

Tab. 13 Hodnoty čtrnáctého měření

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
25	100	47
25	200	133
25	300	222
25	400	303
25	500	390
25	600	478
25	700	563
25	800	654
25	900	744

vzdálenost (mm)	U_{ref} (V)	$U_{\text{měř}}$ (V)
25	900	747
25	800	657
25	700	578
25	600	484
25	500	400
25	400	318
25	300	233
25	200	149
25	100	55